

ОБЕЗУГЛЕРОЖИВАНИЕ АЛЮМОПЕРИКЛАЗОУГЛЕРОДИСТЫХ ОГНЕУПОРОВ ПРИ ПЕРВОМ РАЗОГРЕВЕ КОВШЕВЫХ ФУТЕРОВОК

Аннотация

Представлены результаты исследования кинетики обезуглероживания алюмопериклазоуглеродистых ковшевых огнеупоров. Показана зависимость глубины обезуглероживания от температурно-временных факторов. Изучено влияние температуры и состава атмосферы на пористость алюмопериклазоуглеродистых ковшевых огнеупоров.

Ключевые слова: алюмопериклазоуглеродистые огнеупоры, тепловая обработка, окислитель, глубина обезуглероживания, пористость.

Abstract

The results of investigations of the kinetics obezuglero survival aljumoperiklazouglerodistyh ladle refractories. The dependence of the depth of decarburization of the temperature-time factors. The effect of temperature and atmospheric composition and porosity alyumoperikla-zouglerodistyh ladle refractories.

Keywords: aljumoperiklazouglerodistye refractories of thermal processing, an oxidant, the depth of decarburization porosity.

Тенденции развития отечественной и зарубежной ковшевой металлургии показывают, что спектр технологических операций внепечной обработки стали, проводимых в сталеразливочных ковшах или на агрегатах ковш-печь ежегодно расширяется. Это приводит к необходимости использования для выполнения футеровки ковшей огнеупоров, обладающих высокой стойкостью против воздействия агрессивного действия металла и шлака.

Опыт работы металлургических предприятий свидетельствует о том, что в наибольшей степени современным требованиям к стойкости футеровки удовлетворяют периклазоуглеродистые и алюмопериклазоуглеродистые безобжиговые огнеупоры, содержащие в своем составе чешуйчатый графит. Традиционно к преимуществам огнеупоров такого типа относят низкую смачиваемость расплавами стали и шлака, высокую термостойкость. В то же время эти огнеупоры имеют существенный недостаток, который заключается в окислении углерода (выгорании или обезуглероживании) при взаимодействии с воздушной атмосферой. Характерно, что это явление наблюдается уже при разогреве футеровок на стендах перед приемом расплава стали. Причем наиболее интенсивно обезуглероживание происходит при первом разогреве (обжиге) новой футеровки, когда поверхность футеровки не ошлакована.

Долгое время борьбе с этим явлением не уделяли должного внимания, поскольку в ряде случаев подвергали сомнению сам факт его существования, а величину обезуглероженного слоя огнеупора считали гораздо меньшей, чем она есть на практике. Однако расширение об-

ласти применения углеродсодержащих огнеупоров, накопление практического опыта их эксплуатации показали, что явление обезуглероживания огнеупоров однозначно отрицательно сказывается на стойкости футеровки, а глубина обезуглероженного слоя, образовавшаяся после первого разогрева, достигает значительных величин. В частности при ориентировочной стойкости периклазоуглеродистых и алюмопериклазоуглеродистых футеровок на уровне 80–100 плавов износ футеровки за плавку составляет порядка 1–1,5 мм, причем многие считают, что износ происходит примерно по следующему механизму. При контакте расплава с футеровкой происходит обезуглероживание последней кислородом, содержащимся в стали. Обезуглероженный слой футеровки смачивается расплавом и вступает в реакцию с металлом и шлаком, или пропитывается и размывается последними. Таким образом, обезуглероживание является причиной запуска механизма износа. Ранее проведенные исследования [1–3], включающие промышленные эксперименты, показали, что при первом разогреве глубина обезуглероженного слоя в зависимости от температурного режима может достигать 8–10 мм. Соответственно обезуглероживание огнеупора на 10 мм примерно эквивалентно снижению стойкости футеровки на 10 плавов (10 %).

В настоящей работе проведено исследование влияния различных факторов (температуры и времени разогрева, состава атмосферы) на обезуглероживание ковшевых огнеупоров ООО «Группа Магнезит» (Dalmond) марки APC-75H1, содержащих 75 % Al_2O_3 , 10 % MgO , 7 % C .

Образцы для исследований в виде параллелепипедов с размерами в длину 45–52 мм, в ширину 21–26 мм и в высоту 20–26 мм выпиливали из кирпичей. Нагрев образцов проводили в электрической печи сопротивления СУОЛ-0,25.1/12,5-И1 с нагревателями из карбида кремния в атмосфере воздуха. Образцы нагревали до температур $t = 900, 1000, 1100, 1200, 1250$ °С и выдерживали при постоянной температуре в течение 1, 2 и 3 ч. Температуру образца непрерывно измеряли хромель-алюмелевой термопарой, показания которой фиксировали многоканальным программным регулятором температур «Термодат 19Е2». Массу образцов до и после эксперимента определяли на весах Vibra AF-220CE.

Для установления влияния состава атмосферы провели две серии экспериментов. В первой серии в процессе эксперимента загрузочное окно печи было открыто для свободного доступа атмосферного воздуха. Во второй серии экспериментов образец помещали в трубку из кварцевого стекла, концы которой герметично закрывали пробками. Доступ атмосферного воздуха во внутреннее пространство трубки, в котором находился образец, отсутствовал. Количественно интенсивность обезуглероживания огнеупора определяли по глубине δ обезуглероженного слоя в изломе образцов и по потере их массы.

При обработке полученных экспериментальных данных принимали, что зависимость глубины обезуглероженного слоя от времени τ подчиняется закону квадратного корня, который отражает диффузионный механизм обезуглероживания, а константа скорости окисления подчиняется уравнению Аррениуса [3].

Анализ результатов исследования влияния температурно-временного фактора на обезуглероживание огнеупора в атмосфере воздуха показывает, что увеличение температуры от 800 до 1200 °С и времени выдержки от 60 до 180 мин приводит к росту глубины обезуглероженного слоя с 2 до 5 мм. Характерно, что время выдержки оказывает большее влияние на нарастание обезуглероженного слоя по сравнению с температурой. Этот факт связан с непрерывным расширением алюмопериклазоуглеродистых огнеупоров ввиду образования

шпинели на рабочей поверхности там, где температура достаточна для реакции. В связи с этим огнеупор уплотняется, что препятствует проникновению кислорода в слои огнеупора и соответственно выгоранию углерода.

В результате статистической обработки экспериментальных данных для осуществления прогнозных расчетов получена зависимость, позволяющая определить толщину обезуглероженного слоя огнеупора в зависимости от температуры и времени:

$$\delta = 0,5119 \exp(-494,0/T) \sqrt{\tau}, \quad (1)$$

где T – температура, К.

Первая серия экспериментов по нагреву образцов в атмосфере воздуха, содержащей 21 % кислорода, подтвердила, что обезуглероживание алюмопериклазоуглеродистого огнеупора марки DALMOND APC-75H1 происходит достаточно интенсивно. Прогнозные расчеты с применением соотношения (1) показывают, что в зависимости от режима разогрева в промышленных условиях огнеупор может обезуглероживаться на глубину 7–10 мм.

Вторая серия экспериментов, в которой образцы нагревали в бескислородной атмосфере, показала, что в таких условиях, несмотря на продолжительные выдержки и высокие температуры нагрева, обезуглероживание образцов не происходит. Характерно, что потери массы образцов составили от 0,9 до 1,1 %, это почти на порядок меньше, чем при нагреве в атмосфере воздуха, при этом потери с влагой составляют всего 0,1 % от первоначальной массы огнеупора. Таким образом, разогрев футеровки в безокислительной атмосфере является эффективным способом предотвращения обезуглероживания поверхностного слоя огнеупоров.

Для исследования влияния параметров тепловой обработки на изменение пористости огнеупоров провели серию экспериментов, в которых использовали образцы в исходном состоянии, после тепловой обработки в воздушной и бескислородной атмосферах. Пористость огнеупоров характеризовали величиной водопоглощения W , г/м², с единицы площади поверхности, которую определяли по следующему соотношению:

$$W = (m_{\text{в.о}} - m_{\text{с.о}})/F, \quad (2)$$

где $m_{\text{с.о}}$ – масса высушенного в сушиле образца, г; $m_{\text{в.о}}$ – масса образца после выдержки в емкости с водой, г; F – площадь обезуглероженной поверхности образца, м².

Поскольку выгорание углерода происходит в поверхностных слоях огнеупора, то определенное в экспериментах водопоглощение характеризует изменение пористости огнеупоров лишь качественно.

Результаты обработки экспериментальных данных представлены на рис. 1, из которого видно, что увеличение температуры и времени тепловой обработки в целом приводит к увеличению водопоглощения. Характерно, что для исходных (не подвергнутых тепловой обработке) образцов величина W составила всего 28 г/м², т. е. на порядок меньше, чем у образцов, прошедших тепловую обработку. Для образцов, нагретых до 1000 °С и выдержанных в течение 120 мин в бескислородной атмосфере, водопоглощение составляет 466 г/м², т. е. всего на 10,5 % меньше, чем у образцов, прошедших аналогичную тепловую обработку в атмосфере воздуха.

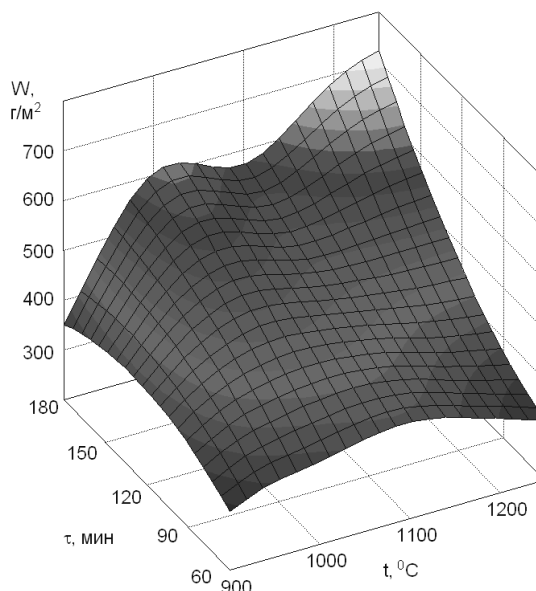


Рис. 1. Изменение водопоглощения в зависимости от режима тепловой обработки образцов

При тепловой обработке алюмопериклазоуглеродистых огнеупоров водопоглощение, а соответственно и пористость, зависят от множества факторов, однако основными процессами, влияющими на них, являются:

1. Деструкция связующего, придающего до тепловой обработки практически монолитную макроструктуру смолосвязанным огнеупорам. Связующее заполняет все поры между зернами огнеупорного материала (MgO и Al_2O_3) и чешуйчатого графита (рис. 2, а). Это обеспечивает крайне низкое водопоглощение огнеупору в исходном состоянии. При тепловой обработке происходит деструкция (термическое разложение) связующего, сопровождающаяся испарением летучих веществ и образованием углеродных (сажистых) частиц. С одной стороны, деструкция связующего приводит к увеличению пористости и водопоглощения, с другой – образование сажистых частиц способствует заполнению образовавшихся пор и некоторому снижению пористости и водопоглощения.

2. Шпинелеобразование, сопровождающееся расширением и уплотнением огнеупора. Степень развития этого процесса зависит от состава огнеупора и температурно-временного режима тепловой обработки.

3. Обезуглероживание, причем можно выделить два его вида: выгорание чешуйчатого графита, имеющегося в исходном составе огнеупора, и выгорание углеродистых (сажистых) частиц, образовавшихся в результате термического разложения связующего.

Представленные схематично на рис. 2, б и в образцы показывают роль состава атмосферы при тепловой обработке огнеупоров. При нагреве в кислородсодержащей атмосфере после тепловой обработки происходит образование обезуглероженного слоя глубиной δ , который имеет характерный светлый цвет, в нем отсутствуют чешуйчатый графит и углеродистые частицы. Этот слой имеет максимальную пористость и водопоглощение. Однако процессы шпинелеобразования способствуют снижению последних.

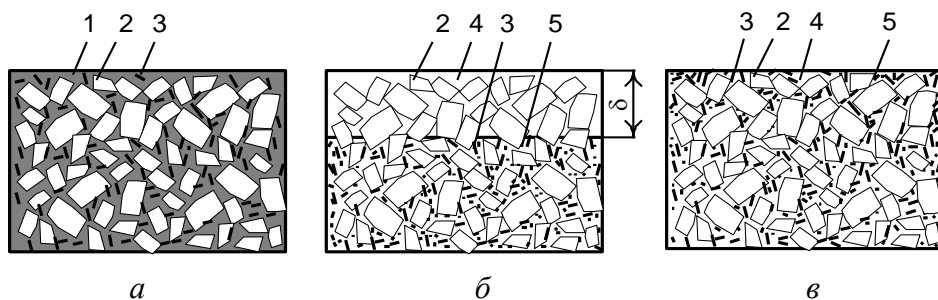


Рис. 2. Схематичное изображение макроструктуры смоляных огнеупоров в исходном состоянии и после тепловой обработки:

1 – связующее (смола и т. п.); 2 – зерна MgO и Al_2O_3 ; 3 – чешуйчатый графит; 4 – поры, образовавшиеся в результате выгорания связующего и чешуйчатого графита; 5 – углеродистые частицы, образовавшиеся в результате термического разложения связующего

При тепловой обработке в бескислородной среде образование обезуглероженного слоя не происходит. В изломе образцы по всему сечению имеют темный (черный) цвет, содержат чешуйчатый графит и сажистые частицы. Однако, несмотря на это, пористость и водопоглощение, обусловленные разложением исходного связующего, хотя и меньше, чем у огнеупора, прошедшего тепловую обработку в окислительной атмосфере, но остаются на достаточно высоком уровне и процесс шпинелеобразования не компенсирует их в полном объеме.

С точки зрения эксплуатационной стойкости алюмопериклазоуглеродистых смоляных огнеупоров важное значение имеет не только пористость, но и наличие чешуйчатого графита и углеродных частиц в поверхностных слоях, поскольку они снижают смачиваемость поверхности огнеупора металлом и шлаком, а также равномерность теплофизических и механических свойств огнеупора по сечению. Различие составов обезуглероженного и основного слоя огнеупора может привести к возникновению трещин и сколов, вызванных термическими напряжениями при нагреве и охлаждении футеровки.

Выводы. Проведенные исследования показали, что при тепловой обработке в окислительной атмосфере алюмопериклазоуглеродистых смоляных огнеупоров происходит выгорание углерода в поверхностных слоях. Глубина выгорания зависит от температуры и времени разогрева, а также от состава атмосферы. В результате воздействия высоких температур исследуемый материал становится более пористым. Тепловая обработка огнеупоров в бескислородной атмосфере устраняет обезуглероживание, однако водопоглощение и пористость огнеупоров меняет незначительно.

Список использованных источников

1. Темлянцев М. В., Матвеев М. В. Обезуглероживание периклазоуглеродистых огнеупоров при тепловой обработке футеровок сталеразливочных ковшей // *Металлург*. 2010. № 8. С. 60–62.
2. Темлянцев М. В., Матвеев М. В. Исследование обезуглероживания периклазоуглеродистых огнеупоров при разогреве футеровок сталеразливочных ковшей перед приемом расплава // *Известия вузов. Черная металлургия*. 2010. № 10. С. 38–40.

3. Темлянцев М. В., Матвеев М. В., Темлянцева Е. Н. Исследование влияния различных факторов на обезуглероживание периклазоуглеродистых ковшовых огнеупоров // Известия вузов. Черная металлургия. 2011. № 10. С. 32 – 36.

УДК 669.045

И. Г. Товаровский, А. Е. Меркулов

Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины,

г. Днепрпетровск, Украина

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТЕЙ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ, ВОССТАНОВЛЕНИЯ И ТЕПЛОСЪЕМА СО СТЕН НА ПРОЦЕССЫ ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ

Аннотация

Влияние кинетических характеристик шихты на показатели и процессы доменной плавки изучалось с помощью многозонной математической модели, включающей 120 локальных объемов, связанных между собой единой системой материально-теплового баланса, и отвечающей требованиям системности анализа и адекватности одновременного отражения всех процессов по всем параметрам. Показано количественное влияние скоростей теплопередачи, восстановления и теплосъема со стен на расход кокса и процессы плавки. Выявлены закономерности трансформации температурно-концентрационных, фазовых и газодинамических полей в объеме ДП, а также поперечных перетоков газа по высоте столба шихты при изменении кинетических характеристик шихтовых материалов.

Ключевые слова: доменная плавка, кинетические характеристики шихты, трансформация температурных полей, технологический режим.

Abstract

Effect of the kinetic characteristics of the charge on the indexes and processes of the blast furnace smelting has been studied by means of a multi-zone mathematical model, which includes 120 local volumes linked by a single system of material and thermal balance, and appropriate to the requirements of the systems analysis and the adequacy of the simultaneous reflection of all the processes in all respects. Displaying the quantitative effect of the rate of heat and mass transfer, heat removal from the walls on coke consumption and smelting processes. Revealed regularities of transformation temperature - concentration, phase and gas-dynamic fields in the volume of the BF, as well as cross-flows of gas through the column height of the charge with changing the kinetic characteristics of the charge materials.

Keywords: blast-furnace smelting, the kinetic characteristics of the charge, the transformation temperature fields, the technological regime.

Совокупность металлургических свойств шихтовых материалов, формируемых при различных целевых установках их производства, включает также комплекс свойств, называемых кинетическими характеристиками, от которых зависят скорости тепломассопередачи и фазовых превращений в столбе шихты.